

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出版

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 2 月 10 日 (10.02.2005)

PCT

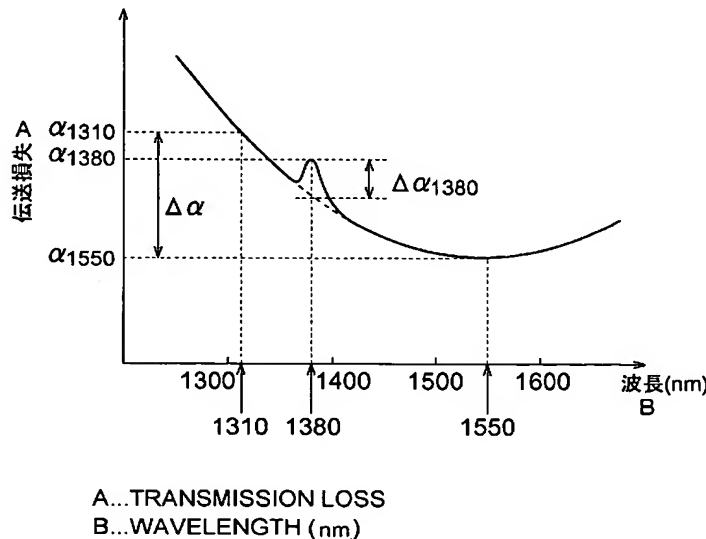
(10) 国際公開番号
WO 2005/012967 A1

- | | |
|---|---|
| <p>(51) 国際特許分類: G02B 6/16</p> <p>(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/011166</p> <p>(22) 国際出願日: 2004 年 8 月 4 日 (04.08.2004)</p> <p>(25) 国際出願の言語: 日本語</p> <p>(26) 国際公開の言語: 日本語</p> <p>(30) 優先権データ:
特願2003-286118 2003 年 8 月 4 日 (04.08.2003) JP
特願 2003-427765
2003 年 12 月 24 日 (24.12.2003) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号 Osaka (JP).</p> | <p>(72) 発明者; および</p> <p>(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 笹岡 英資 (SASAKA, Eisuke) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP). 山本 義典 (YAMAMOTO, Yoshinori) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP).</p> <p>(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA, Yoshiki et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目 10 番 6 号 銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).</p> <p>(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,</p> |
|---|---|

[続葉有]

(54) Title: FIBER OPTICS

(54) 発明の名称: 光ファイバ



(57) Abstract: Fiber optics applicable to optical communication in not only 1.3 μ m wavelength band but 1.55 μ m wavelength band as a transmission medium in a WDM optical communication system capable of transmitting a multi-channel signal light to enable a signal transmission in a broader band. The fiber optics mainly consist of quartz glass and are provided with a core area along a specified axis and a clad area surrounding the core area. The fiber optics with such a structure have, as typical optical characteristics, a cable cutoff wavelength of up to 1260 nm, a transmission loss of up to 0.32 dB/km at a wavelength of 1310 nm, and an OH group-caused loss increase amount of up to 0.3 dB/km at a wavelength of 1380 nm.

(57) 要約: この発明は、複数チャネルの信号光を伝送可能なWDM光通信システムの伝送媒体として、1.3 μ m 波長帯のみならず1.55波長帯の光通信にも適用可能な、より広帯域での信号伝送を可能にする光ファイバを提供する。当該光ファイバは、石英ガラスを主成分とし、所定軸に沿ったコア領域と該コア領域の外周に設けられたクラッド領域を備える。このような構造を備えた当該光ファイバは、代表的な光学特性として、1260nm以下のケーブルカットオフ波長と、波長1310nmにおいて0.32dB/km以下の伝送損失と、波長1380nmにおいて0.3dB/km以下の、OH基に起因した損失増加量を有する。

WO 2005/012967 A1



ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

光ファイバ

技術分野

[0001] この発明は、光通信システム等における光伝送路に適用可能な光ファイバに関するものである。

背景技術

[0002] 光通信システムは、伝送媒体である光ファイバを介して信号光を伝送することで、大容量情報の高速送受信を可能にする。また、波長分割多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)光通信システムは、波長の異なる複数チャネルが多重化された信号光(多重化信号光)を伝送することにより、より大容量の情報を送受信可能にする。近年は、WDM光通信システムにおいて更なる大容量化が要求されており、このことから、WDM光伝送における信号チャネル間隔を狭くすることが考えられ、また、WDM光伝送で使用される波長帯域を拡大することが考えられている。

[0003] 信号波長帯域の拡大については、当初のCバンド(1530nm～1565nm)の利用だけでなく、Cバンドより長波長側のLバンド(1565nm～1625nm)やUバンド(1625nm～1675nm)の利用も検討され、また、Cバンドより短波長側のOバンド(1260nm～1360nm)、Eバンド(1360nm～1460nm)及びSバンド(1460nm～1530nm)の利用も検討されている。

[0004] このような広帯域において信号光を伝送する光ファイバには、その信号波長帯域における伝送損失が小さいこと等が要求される。光通信システムに適用される光ファイバは、一般に、石英ガラスを主成分とする伝送媒体であり、Cバンド内の波長1550nm付近において伝送損失が最小となり、また、波長1380nmにおいてOH基に起因した損失増加が存在する。

[0005] なお、標準的なシングルモード光ファイバの特性は、国際規格(ITU-T G.652)に定められている。この規格によれば、標準的なシングルモード光ファイバは、1300nm～1324nmの零分散波長と、波長1310nmにおいてその中心値が $8.6\mu\text{m}$ ～ $9.5\mu\text{m}$ かつ偏差の許容値が $\pm 0.7\mu\text{m}$ のモードフィールド径と、そして、1260nm以下

のケーブルカットオフ波長を有する。この規格に準拠したシングルモード光ファイバは、例えば非特許文献1〜4に記載されたように、多くの光ファイバメーカーにより製造・販売されている。

- [0006] 一方、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯用光ファイバとしては、例えば、非特許文献5に、波長 1550nm において 0.154dB/km の伝送損失と、波長 1300nm において 0.291dB/km の伝送損失と、そして、波長 1380nm において 0.75dB/km の、OH基に起因した損失増加量を有する光ファイバが開示されている。また、特許文献1には、波長 1550nm において $0.170\sim 0.173\text{dB/km}$ の伝送損失と、そして、波長 1380nm において 0.3dB/km の、OH基に起因した損失増加量を有する光ファイバが開示されている。

特許文献1: 米国特許第6449415号明細書

非特許文献1: 住友電気工業株式会社のカタログ、「Specification for Low Water Peak Single-Mode Optical Fiber (G.652D) "PureBand™"」、2003年8月25日

非特許文献2: Corning社のカタログ、「Corning® SMF-28e™ Optical Fiber Product Information」、2003年3月

非特許文献3: OFS社のカタログ、「AllWave® Fiber The New Standard for Single-Mode Fiber」、2003年

非特許文献4: Alcatel社のカタログ、「Alcatel 6901 Enhanced Singlemode Fiber」、2002年1月

非特許文献5: 横田弘、他、「超低損失純シリカコアシングルモードファイバの損失特性」、昭和61年度電子通信学会総合全国大会、1091

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0007] 発明者らは、従来の光ファイバについて検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、国際規格 (ITU-T G.652) に準拠した上記標準的なシングルモード光ファイバは、そもそも、 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯の信号光を伝送する光伝送路を意図して設計されていることから、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯の信号光を伝送する光伝送路に適用される場合には、伝送品質の点で問題を有している。特に、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯の多重化信

号光を伝送するWDM光通信システムの光伝送路として標準的なシングルモード光ファイバが適用される場合、各信号チャネルにおける波形劣化が生じ易いという課題があった。

- [0008] 一方、上記非特許文献5に記載された光ファイバは、波長1300nmにおける伝送損失が小さい点では好ましいものの、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量が多い。換言すれば、上記非特許文献5に記載された光ファイバは、波長1380nm及び周辺波長帯における伝送損失が他の波長帯と比較して非常に大きく、したがって、波長1380nmを含む波長帯では信号伝送に不向きである。
- [0009] また、上記特許文献1に記載された光ファイバは、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量が小さい点では好ましいものの、カットオフ波長が1310nm以上であるか、あるいは零分散波長が1350nmである。このため、上記特許文献1に記載された光ファイバは、波長1310nm付近の波長帯では信号伝送に不向きである
- [0010] この発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、国際規格(ITU-T G.652)で規定される標準的なシングルモード光ファイバとの互換性が優れ(1.3 μ m波長帯において高品質多重伝送が可能)、1.55 μ m波長帯においても高品質多重伝送が可能な、より広帯域での信号伝送に適した光ファイバを提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

- [0011] この発明に係る光ファイバは、所定軸に沿って伸びたコア領域と外コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備え、石英ガラスを主成分とする光伝送媒体である。特に第1実施例に係る光ファイバは、1260nm以下のケーブルカットオフ波長と、波長1310nmにおいて0.32dB/km以下の伝送損失と、そして、波長1380nmにおいて0.3dB/km以下の、OH基に起因した損失増加量を有する。
- [0012] 上述のような特性を有する当該光ファイバは、石英ガラスを主成分とする伝送媒体であるから、波長1550nm付近において伝送損失が最小となる。また、当該光ファイバは、波長1310nmにおける伝送損失が小さく、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量も小さい。さらに、当該光ファイバは、ケーブルカットオフ波長が1260nm以下であることから、OバンドからLバンドまでの広い信号波長帯域において、

信号光を低損失かつシングルモード伝送を保証できる。

- [0013] 第1実施例に係る光ファイバにおいて、波長1310nmにおける伝送損失は、0.30dB/km以下であるのが好ましい。この場合、波長1310nm付近の信号光を更に低損失で長距離伝送することができる。
- [0014] 第1実施例に係る光ファイバにおいて、波長1380nmにおける伝送損失は、波長1310nmにおける伝送損失より小さいのが好ましい。この場合、波長1380nm付近の信号光を低損失で長距離伝送する上で好都合である。
- [0015] 第1実施例に係る光ファイバにおいて、波長1310nmにおける伝送損失から波長1550nmにおける伝送損失を引いた値は、0.13dB/km以下であるのが好ましい。この場合、波長1310nmと1550nmの両波長における伝送損失の差が小さいので、広い信号波長帯域において均質品質の信号光伝送が実現され得る。
- [0016] 第1実施例に係る光ファイバにおいて、零分散波長は、1300nm以上かつ1324nm以下であるのが好ましい。この場合、当該光ファイバの零分散波長と標準的なシングルモード光ファイバの零分散波長とが同程度になることから、当該光ファイバは標準的なシングルモード光ファイバとの互換性が優れ、分散補償の点で好都合である。
- [0017] 第1実施例に係る光ファイバにおいて、偏波モード分散は、波長1550nmにおいて $0.5\text{ps}/\text{km}^{1/2}$ 以下であるのが好ましい。この場合、高ビットレート伝送を行なう際の偏波モード分散に起因した信号伝送性能の劣化が十分に低減可能になる。
- [0018] 第1実施例に係る光ファイバにおいて、波長1550nmにおける曲げ直径20mmでの曲げ損失は、3dB/m以下であるのが好ましい。この場合、当該光ファイバがコイル状に巻かれて収納される際や引き回しの際にマクロベンドに起因した損失増加が低減され得る。
- [0019] 第1実施例に係る光ファイバにおいて、波長1550nmにおけるPetermann-Iモードフィールド径は、 $10.0\mu\text{m}$ 以下であるのが好ましい。この場合、ケーブル化される際のマイクロベンドに起因した損失増加が低減され得る。
- [0020] 一方、第2実施例に係る光ファイバは、1260nm以下のケーブルカットオフ波長と、波長1310nmにおいて $9\mu\text{m}$ 以下のモードフィールド径と、波長1550nmにおいて $0.055\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下の分散スロープを有してもよい。なお、当該光ファイバは、

さらに、波長1550nmにおいて $16\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下、より好ましくは $15\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下の波長分散を有してもよい。

- [0021] また、第3実施例に係る光ファイバは、波長1310nmにおいて $9\mu\text{m}$ 以下のモードフィールド径と、零分散波長において $0.082\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下の分散スロープを有してもよい。このとき、当該光ファイバにおいて、零分散波長における分散スロープは、 $0.080\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であるのが好ましい。
- [0022] これら第2及び第3実施例に係る光ファイバが適用されることにより、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯の多重化信号光を伝送する場合にも高品質の信号伝送が可能になる。また、これら第2及び第3実施例に係る光ファイバは、国際規格 (ITU-T G.652) で規定される標準的なシングルモード光ファイバとの互換性に優れている。すなわち、従来のシングルモード光ファイバが適用された光通信システムの場合と同様に、この発明に係る光ファイバが適用される光通信システムの設計や構築が可能になる。また、従来のシングルモード光ファイバとこの発明に係る光ファイバとが混在した光通信システムの構築も可能になる。
- [0023] なお、第2及び第3実施例に係る光ファイバにおいて、波長1550nmにおける伝送損失は、 $0.176\text{dB}/\text{km}$ 以下であるのが好ましい。この場合、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯の信号光を無中継で長距離伝送する光伝送路が構築可能になる。
- [0024] 第2及び第3実施例に係る光ファイバにおいて、波長1310nmにおける伝送損失は、 $0.32\text{dB}/\text{km}$ 以下であり、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量は、 $0.3\text{dB}/\text{km}$ 以下であるのが好ましい。この場合、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯だけでなく広帯域の信号光を無中継で長距離伝送する光伝送路が構築可能になる。
- [0025] 第2及び第3実施例に係る光ファイバにおいて、零分散波長が1300nm以上かつ1324nm以下に設定されることにより、国際規格 (ITU-T G.652) で規定される標準的なシングルモード光ファイバとの互換性が更に優れる。
- [0026] なお、上述のような構造を備えた第1〜第3実施例に係る光ファイバにおいて、クラッド領域にはフッ素が添加される一方、コア領域に GeO_2 が添加されないのが好ましい。また、上述のような種々の光学特性を得るため、これら第1〜第3実施例に係る光ファイバは、コア領域の外径が $7.5\mu\text{m}$ 以上かつ $8.6\mu\text{m}$ 以下となり、かつ、クラッド

領域に対するコア領域の比屈折率差が0.36%以上かつ0.42%以下となるように設計される。

発明の効果

- [0027] この発明によれば、国際規格 (ITU-T G.652) で規定される標準的なシングルモード光ファイバとの互換性が優れ ($1.3\mu\text{m}$ 波長帯において高品質多重伝送が可能)、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯においても高品質多重伝送が可能な、より広帯域での信号伝送に適した光ファイバが得られる。

図面の簡単な説明

- [0028] [図1]図1は、この発明に係る光ファイバの構造を説明するための断面図及び屈折率プロファイルである。
- [図2]図2は、この発明に係る光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。
- [図3]図3は、この発明に係る光ファイバの波長分散の波長依存性を示すグラフである。
- [図4]図4は、この発明に係る光ファイバとして用意されたサンプルの製造方法を説明するための工程図である。
- [図5]図5は、この発明に係る光ファイバとして用意されたサンプルA及び比較例Aそれぞれの諸特性を纏めた表である。
- [図6]図6は、この発明に係る光ファイバとして用意されたサンプルA及び比較例Aそれぞれの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。
- [図7]図7は、国際規格 (ITU-T G.652) で規定される標準的なシングルモード光ファイバの波長分散特性を基準として、この発明に係る光ファイバの波長分散特性を示すグラフである。
- [図8]図8は、サンプルB-I及び比較例Bそれぞれに係る光ファイバの諸特性を纏めた表である。
- [図9]図9は、波長 1310nm におけるモードフィールド径MFDを横軸としケーブルカットオフ波長 λ_{cc} を縦軸とする2次元空間上において、サンプルB-F及び比較例Bそれぞれに係る光ファイバの (MFD, λ_{cc}) の位置を示すとともに、等波長分散曲線

をも示すグラフである。

[図10]図10は、波長1310nmにおけるモードフィールド径MFDを横軸としケーブルカットオフ波長 λ_{cc} を縦軸とする2次元空間上において、サンプルB〜F及び比較例Bそれぞれに係る光ファイバの(MFD, λ_{cc})の位置を示すとともに、等分散スロープ曲線をも示すグラフである。

符号の説明

- [0029] 10…光ファイバ
11…コア領域
12…クラッド領域

発明を実施するための最良の形態

- [0030] 以下、この発明に係る光ファイバの各実施例を、図1〜図10それぞれを用いて詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。
- [0031] 図1は、この発明に係る光ファイバの構造を説明するための図である。図1中に示された(a)は、光ファイバ10の光軸に垂直な断面構造を示す図であり、図1中に示された(b)は、光ファイバ10の屈折率プロファイルである。この図1中の(a)のように、光ファイバ10は、中心に円形断面を有する外径2aのコア領域11と、このコア領域11の外周を取り囲むクラッド領域12とを備える。また、図1中の(b)に示された光ファイバ10の屈折率プロファイルにおいて、クラッド領域12に対するコア領域11の比屈折率差は Δn である。
- [0032] 光ファイバ10は、石英ガラスを主成分とし、好ましくは、クラッド領域12にフッ素が添加され、コア領域11に GeO_2 が添加されていない純石英ガラスである。この場合、伝送損失を低減する上で好都合である。また、光ファイバ10のケーブルカットオフ波長は1260nm以下である。
- [0033] 図2は、この発明に係る光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。光ファイバ10は、石英ガラスを主成分としているため、この図2に示されたように、波長1550nm付近において伝送損失が最小となる。なお、波長1550nmにおける伝送損失を α_{1550} と表す。光ファイバ10において、波長1310nmにおける伝送損失 α_{1310}

は0.32dB/km以下であり、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量 $\Delta \alpha_{1380}$ は0.3dB/km以下である。

- [0034] この光ファイバ10において、波長1310nmにおける伝送損失 α_{1310} は小さく、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量 $\Delta \alpha_{1380}$ も小さい。さらに、この光ファイバ10は、ケーブルカットオフ波長が1260nm以下であることから、OバンドからLバンドまでの広信号波長帯域において、信号光の低損失かつシングルモードでの伝送を保証する。
- [0035] 光ファイバ10において、波長1310nmにおける伝送損失 α_{1310} は0.30dB/km以下であれば更に好ましく、この場合、該波長1310nm付近の信号光を更に低損失で長距離伝送することができる。
- [0036] 光ファイバ10において、波長1380nmにおける伝送損失 α_{1380} は波長1310nmにおける伝送損失 α_{1310} より小さいのが好ましく、この場合、波長1380nm付近の信号光を低損失で長距離伝送する上で好都合である。
- [0037] 光ファイバ10において、波長1310nmにおける伝送損失 α_{1310} から波長1550nmにおける伝送損失 α_{1550} を引いた値 $\Delta \alpha (= \alpha_{1550} - \alpha_{1310})$ は、0.13dB/km以下であるのが好ましい。この場合、両波長間の伝送損失の差が小さいので、広い信号波長帯域において均質な性能の信号光伝送が実現可能になる。
- [0038] 図3は、この発明に係る光ファイバの波長分散の波長依存性を示すグラフである。この図3に示されるように、波長が長いほど、光ファイバ10の波長分散は大きい。また、光ファイバ10の零分散波長 λ_0 は1300nm以上かつ1324nm以下である。この場合、光ファイバ10の零分散波長は、標準的なシングルモード光ファイバと零分散波長と同程度であることから、当該光ファイバ10は、標準的なシングルモード光ファイバとの互換性が優れ、分散補償の点で好都合である。
- [0039] さらに、光ファイバ10において、波長1550nmにおける偏波モード分散は0.5ps/km^{1/2}以下であるのが好ましい。この場合、高ビットレート伝送を行なう際の偏波モード分散に起因した信号光伝送性能の劣化が低減され得る。また、光ファイバ10において、波長1550nmにおける曲げ直径20mmでの曲げ損失は3dB/m以下であるのが好ましい。この場合、コイル状に巻かれて収納される際や引き回しの際にマクロ

ベンドに起因した損失増加が低減可能になる。また、光ファイバ10において、波長1550nmにおけるPetermann-Iモードフィールド径は $10.0\mu\text{m}$ 以下であるのが好ましい。この場合、ケーブル化される際のマイクロベンドに起因した損失増加が低減され得る。

[0040] 次に、この発明に係る光ファイバとして用意された第1サンプル(サンプルA)について、第1比較例(比較例A)とともに説明する。

[0041] サンプルAの光ファイバは、図1に示された断面構造及び屈折率プロファイルを有し、コア領域が純石英ガラスからなり、クラッド領域がフッ素添加石英ガラスからなる。コア領域の外径 $2a$ は $7.9\mu\text{m}$ であり、クラッド領域の外径 $2b$ は $125\mu\text{m}$ である。また、クラッド領域の屈折率を基準としたコア領域の比屈折率差 Δn は0.39%である。これに対して、比較例Aに係る光ファイバは、標準的なシングルモード光ファイバであって、コア領域が GeO_2 添加石英ガラスからなり、クラッド領域が純石英ガラスからなる。

[0042] このサンプルAの光ファイバは、以下に説明する製造方法により製造される。すなわち、図4は、この発明に係る光ファイバにおける各サンプルの製造方法を説明するための工程図である。図4に示された製造工程では、まず、高純度の石英ガラス棒がVAD法で合成され、このガラス棒が温度約 2000°C の加熱炉内で延伸され、そして、外径3mm、長さ50cmのガラスロッド2が作成される。加えて、純石英ガラスに対する比屈折率差が -0.39% であるフッ素添加石英ガラスからなるガラスパイプ1がVAD法で作成される。なお、このガラスパイプ1は、外径が20mmで、内径が6mmである。

[0043] そして、図4中に示された(a)のように、テープヒータ7が巻かれたガラスパイプ1内にガラスロッド2が挿入された状態で、該ガラスパイプ1の第1端側のパイプ5からガラスパイプ1内に清浄な N_2 ガス(H_2O 含有量が0.5体積ppm以下、その他のH含有ガスの含有量が0.1体積ppm以下)を標準状態(温度 0°C 、1気圧)換算で流量 $2000\text{cc}/\text{min}$ (以下、sccmと表記)だけ流される。一方、ガラスパイプ1の第2端側のパイプ6から真空排気して、ガラスパイプ1の内部の気圧を 2.5kPa とする。このとき、後の不純物除去、封止及び中実化の各工程でガラスパイプ1及びガラスロッド2それぞれのうち温度 550°C 以上に加熱される範囲Aだけでなく、その範囲Aの両外側の長さ200

mmの部分を含む範囲Bを、テープヒータ7で温度200℃に加熱する。加熱範囲Bは、後の中実化工程で温度550℃以上に加熱される範囲を含むように設定される。この状態が4時間保持され、上記清浄な N_2 ガスが吹き流し排気される。

[0044] 続いて、図4中に示された(b)のように、ガラスパイプ1の第1端側のパイプ5からガラスパイプ1内に脱金属不純物性ガス(例えば、 Cl_2 , $SOCl_2$)が導入され、熱源3によりガラスパイプ1及びガラスロッド2が温度1150℃に加熱される。これにより、ガラスパイプ1の内壁面及びガラスロッド2の表面それぞれに付着している金属不純物が除去される。

[0045] さらに続いて、図4中に示された(c)のように、ガラスパイプ1の第2端側が熱源3により加熱溶融されることにより、ガラスパイプ1とガラスロッド2とが融着し、矢印Sで示された領域が封止される。そして、排気配管であるガスライン8を介して真空ポンプにより、ガラスパイプ1の内部が気圧0.01kPa以下の真空状態に減圧される。その後、ガラスパイプ1の第1端側のパイプ5からガラスパイプ1内に清浄な N_2 ガス(H_2O 含有量が0.5体積ppm以下、その他のH含有ガスの含有量が0.1体積ppm以下)が導入される。このとき、真空ポンプを停止することで、ガラスパイプ1の内部が気圧105kPaに加圧される。この減圧及び加圧が3サイクル繰り返されることにより、ガラスパイプ1の内壁面及びガラスロッド2の表面それぞれに吸着しているガス(主に H_2O)が脱離する。

[0046] そして、図4中に示された(d)のように、ガラスパイプ1の第2端側から第1端側に向かって順に熱源3を移動させることにより、ガラスパイプ1とガラスロッド2とが加熱溶融し中実化する(ロッドインコープス法)。このとき、ガラスパイプ1の内部には、500sccmの Cl_2 ガス及び500sccmの O_2 ガスが導入される。また、ガラスパイプ1の内部の気圧はゲージ圧力で-1kPaであり、中実化時におけるガラスパイプ1の外表面の温度は1600℃である。以上の工程を経て第1プリフォームが得られる。

[0047] この第1プリフォームは、外径が19mmであり、長さが400mmであり、クラッド径とコア径との比が6.6である。さらに、この第1プリフォームを延伸することにより、外径14mmの第2プリフォームが得られる。この外径14mmの第2プリフォームの外周面上に、 H_2/O_2 炎中に $SiCl_4$ を導入して得られた SiO_2 微粒子が、外径120mmになるまで

堆積していく。このようにして得られた堆積体は、さらに炉内で温度800℃に加熱される。なお、炉温は昇温速度33℃/分で温度1500℃まで上げられる。この間、1500 0sccmのHeガス及び450sccmのSF₆ガスが炉内に導入される。以上のようにしてファイバプリフォームが得られる。そして、このファイバプリフォームを線引きすることで、この発明に係る光ファイバの各サンプルが得られる。

[0048] 図5は、上述のサンプルA及び比較例Aそれぞれに係る光ファイバの諸特性を纏めた表である。また、図6は、サンプルA及び比較例Aそれぞれに係る光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。なお、図6において、実線はサンプルAに係る光ファイバの伝送損失を示し、破線は、比較例Aに係る光ファイバの伝送損失を示す。

[0049] これら図5及び図6から分かるように、比較例Aの光ファイバは、波長1310nmにおける伝送損失 α_{1310} が0.33dB/kmであり、波長1380nmにおける伝送損失 α_{1380} が0.62dB/kmであり、波長1550nmにおける伝送損失 α_{1550} が0.19dB/kmであり、損失差 $\Delta \alpha (= \alpha_{1550} - \alpha_{1310})$ が0.14dB/kmであり、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量 $\Delta \alpha_{1380}$ が0.31dB/kmである。

[0050] 一方、サンプルAの光ファイバは、波長1310nmにおける伝送損失 α_{1310} が0.29dB/kmであり、波長1380nmにおける伝送損失 α_{1380} が0.27dB/kmであり、波長1550nmにおける伝送損失 α_{1550} が0.17dB/kmであり、損失差 $\Delta \alpha$ が0.12dB/kmであり、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量 $\Delta \alpha_{1380}$ が0.03dB/kmである。

[0051] また、サンプルAの光ファイバは、ケーブルカットオフ波長が1220nmであり、零分散波長が1310nmであり、波長1550nmにおけるモードフィールド径が9.7 μm であり、波長1550nmにおける曲げ直径20mmでの曲げ損失が2dB/mである。

[0052] さらに、サンプルAの光ファイバは、コア領域及びクラッド領域それぞれの非円化が十分に抑制されており、波長1550nmにおける偏波モード分散は、ボビン巻き状態で0.1ps/km^{1/2}以下であり、外力が低減された束取り状態で0.03ps/km^{1/2}以下である。

[0053] 次に、この発明に係る光ファイバとして用意された第2〜第9サンプル(サンプルB

ーI)を、第2比較例(比較例B)と比較しながら詳細に説明する。

[0054] なお、この発明に係る光ファイバとして用意されたサンプルBーIは、図1に示された断面構造及び屈折率プロファイルを有する。すなわち、サンプルBーIそれぞれの光ファイバは、外径 $2a$ のコア領域と、該コア領域の外周を取り囲むクラッド領域とを備える。コア領域の屈折率は、クラッド領域の屈折率よりも高く、クラッド領域の屈折率を基準としたコア領域の比屈折率差 Δn は正である。

[0055] これらサンプルBーIの光ファイバそれぞれも、石英ガラスを主成分としており、コア領域及びクラッド領域の双方又はいずれか一方に屈折率調整用の添加物が添加されている。コア領域は GeO_2 が添加され、クラッド領域は純石英ガラスからなっているもよいが、好ましくは、コア領域は GeO_2 が添加されていない純石英ガラスからなり、クラッド領域はフッ素が添加される。このような組成とすることにより得られる光ファイバの伝送損失を小さくすることができる。

[0056] 図7は、国際規格(ITU-T G.652)で規定される標準的なシングルモード光ファイバの波長分散特性を基準として、この発明に係る光ファイバの波長分散特性を示すグラフである。なお、この図7において、グラフG710はこの発明に係る光ファイバの波長分散特性を示し、グラフG720は、国際規格(ITU-T G.652)で規定される標準的なシングルモード光ファイバの波長分散特性を示している。当該光ファイバは、標準的なシングルモード光ファイバと同様に、零分散波長が波長1300nm付近にあり、波長1200nm～1700nmの範囲で分散スロープが正である。しかしながら、当該光ファイバは、標準的なシングルモード光ファイバと比較すると、波長1550nmにおいて波長分散が小さく分散スロープも小さい。

[0057] すなわち、この発明に係る光ファイバにおいて、波長1550nmにおける分散スロープは $0.055\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であり、波長1550nmにおける波長分散は $16\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下、より好ましくは $15\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である。また、この発明に係る光ファイバにおいて、ケーブルカットオフ波長は1260nm以下であり、波長1310nmにおけるモードフィールド径は $9\mu\text{m}$ 以下である。

[0058] あるいは、この発明に係る光ファイバにおいて、波長1310nmにおけるモードフィールド径は $9\mu\text{m}$ 以下であり、零分散波長における分散スロープは $0.082\text{ps}/\text{nm}^2$

／km以下、より好ましくは $0.080\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である。

[0059] このような光ファイバが光伝送路として適用されることにより、 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ 波長帯の多重化信号光を伝送する場合において高品質の信号伝送が可能になる。また、当該光ファイバは、国際規格 (ITU-T G.652) で規定される標準的なシングルモード光ファイバとの互換性が優れている。すなわち、従来のシングルモード光ファイバが光伝送路に適用された光通信システムの場合と同様に、この発明に係る光ファイバが光伝送路に適用された光通信システムの設計や構築が可能になる。また、従来のシングルモード光ファイバとこの発明に係る光ファイバとが混在する光通信システムの構築も可能になる。

[0060] 加えて、この発明に係る光ファイバにおいて、波長 1550nm における伝送損失は $0.176\text{dB}/\text{km}$ 以下であるのが好ましい。 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ 波長帯の信号光を無中継で長距離伝送する光伝送路が構築可能になるからである。さらに、波長 1310nm における伝送損失は $0.32\text{dB}/\text{km}$ 以下であり、波長 1380nm におけるOH基に起因した損失増加量は $0.3\text{dB}/\text{km}$ 以下であるのが好ましい。この場合には、 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ 波長帯だけでなく該 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ 波長帯を含む広帯域の信号光を無中継で長距離伝送する光伝送路が構築可能になる。また、零分散波長は 1300nm 以上かつ 1324nm 以下である場合には、国際規格 (ITU-T G.652) で規定される標準的なシングルモード光ファイバとの間で優れた互換性が得られる。

[0061] 次に、図8～図10を用いて、この発明に係る光ファイバの第2～第9サンプル(サンプルB～I)について説明する。図8は、サンプルB～I及び比較例Bそれぞれに係る光ファイバの諸特性を纏めた表である。サンプルB～Iそれぞれの光ファイバは、図1に示された断面構造及び屈折率プロファイルを有する。すなわち、コア領域が純石英ガラスからなり、クラッド領域がフッ素添加の石英ガラスからなる。一方、比較例Bの光ファイバは、国際規格 (ITU-T G.652) に準拠するシングルモード光ファイバであり、コア領域は GeO_2 添加の石英ガラスからなり、クラッド領域は純石英ガラスからなる。

- 。
- [0062] この図8には、サンプルB-I及び比較例Bの各光ファイバについて、比屈折率差 Δn (%)、コア径 $2a$ (μm)、ケーブルカットオフ波長 (nm)、波長1310nmにおけるモードフィールド径 (μm)、零分散波長 (nm)、波長1550nmにおける波長分散 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$)、波長1550nmにおける分散スロープ ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)、零分散スロープ ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)、波長1310nmにおける伝送損失 (dB/km)、波長1380nmにおける伝送損失 (dB/km)、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量 (dB/km)、波長1550nmにおける伝送損失 (dB/km)、及びファイバ構造が示されている。
- [0063] すなわち、サンプルBの光ファイバは、比屈折率差 Δn が0.38%、コア径 $2a$ が7.80 μm 、ケーブルカットオフ波長が1166nm、波長1310nmにおけるモードフィールド径が8.53 μm 、零分散波長が1318nm、波長1550nmにおける波長分散が14.97 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長1550nmにおける分散スロープが0.0540 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、零分散スロープが0.0793 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。
- [0064] サンプルCの光ファイバは、比屈折率差 Δn が0.395%、コア径 $2a$ が8.16 μm 、ケーブルカットオフ波長が1230nm、波長1310nmにおけるモードフィールド径が8.60 μm 、零分散波長が1313nm、波長1550nmにおける波長分散が15.46 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長1550nmにおける分散スロープが0.0544 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、零分散スロープが0.0806 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。
- [0065] サンプルDの光ファイバは、比屈折率差 Δn が0.39%、コア径 $2a$ が8.02 μm 、ケーブルカットオフ波長が1200nm、波長1310nmにおけるモードフィールド径が8.57 μm 、零分散波長が1313nm、波長1550nmにおける波長分散が15.39 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長1550nmにおける分散スロープが0.0537 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、零分散スロープが0.0801 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。
- [0066] サンプルEの光ファイバは、比屈折率差 Δn が0.395%、コア径 $2a$ が7.56 μm 、ケーブルカットオフ波長が1135nm、波長1310nmにおけるモードフィールド径が8.37 μm 、零分散波長が1318nm、波長1550nmにおける波長分散が14.86 $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長1550nmにおける分散スロープが0.0531 $\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、零分散

スロープが $0.0789\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。

- [0067] サンプルFの光ファイバは、比屈折率差 Δn が 0.42% 、コア径 $2a$ が $7.60\mu\text{m}$ 、ケーブルカットオフ波長が 1260nm 、波長 1310nm におけるモードフィールド径が $8.33\mu\text{m}$ 、零分散波長が 1307nm 、波長 1550nm における波長分散が $15.75\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 1550nm における分散スロープが $0.0536\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、零分散スロープが $0.0816\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。
- [0068] サンプルGの光ファイバは、比屈折率差 Δn が 0.385% 、コア径 $2a$ が $8.14\mu\text{m}$ 、ケーブルカットオフ波長が 1184nm 、波長 1310nm におけるモードフィールド径が $8.72\mu\text{m}$ 、零分散波長が 1312nm 、波長 1550nm における波長分散が $15.90\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 1550nm における分散スロープが $0.0547\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、零分散スロープが $0.0800\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。
- [0069] サンプルHの光ファイバは、比屈折率差 Δn が 0.38% 、コア径 $2a$ が $8.52\mu\text{m}$ 、ケーブルカットオフ波長が 1226nm 、波長 1310nm におけるモードフィールド径が $8.92\mu\text{m}$ 、零分散波長が 1304nm 、波長 1550nm における波長分散が $16.66\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 1550nm における分散スロープが $0.0548\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、零分散スロープが $0.0819\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。
- [0070] サンプルIの光ファイバは、比屈折率差 Δn が 0.36% 、コア径 $2a$ が $8.10\mu\text{m}$ 、ケーブルカットオフ波長が 1133nm 、波長 1310nm におけるモードフィールド径が $8.92\mu\text{m}$ 、零分散波長が 1317nm 、波長 1550nm における波長分散が $15.39\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 1550nm における分散スロープが $0.0544\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、零分散スロープが $0.0790\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。
- [0071] なお、サンプルB～Fの光ファイバのいずれも、波長 1310nm における伝送損失は $0.32\text{dB}/\text{km}$ 以下、波長 1380nm における伝送損失は $0.31\text{dB}/\text{km}$ 、波長 1380nm におけるOH基に起因した損失増加量は $0.10\text{dB}/\text{km}$ 以下、波長 1550nm における伝送損失は $0.176\text{dB}/\text{km}$ 以下である。また、いずれの光ファイバも、純石英コアとF添加クラッドを備える。
- [0072] 一方、比較例Bの光ファイバは、ケーブルカットオフ波長が 1158nm 、波長 1310nm におけるモードフィールド径が $9.13\mu\text{m}$ 、零分散波長が 1316nm 、波長 1550nm

における波長分散が $16.50\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 1550nm における分散スロープが $0.0584\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、零分散スロープが $0.0850\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。また、波長 1310nm における伝送損失は $0.33\text{dB}/\text{km}$ 以下、波長 1380nm における伝送損失は $0.62\text{dB}/\text{km}$ であり、波長 1380nm におけるOH基に起因した損失増加量は $0.31\text{dB}/\text{km}$ 以下であり、波長 1550nm における伝送損失は $0.19\text{dB}/\text{km}$ 以下である。この比較例Bの光ファイバは、Ge添加コアと純石英クラッドを備える。

[0073] 図9は、波長 1310nm におけるモードフィールド径MFDを横軸としケーブルカットオフ波長 λ_{cc} を縦軸とする2次元空間上において、サンプルBーF及び比較例Bそれぞれの光ファイバの $(\text{MFD}, \lambda_{cc})$ の位置を示すとともに、波長 1550nm における等波長分散曲線をも示すグラフである。なお、この図9において、記号▲Bー▲Fは、サンプルBーFの光ファイバの $(\text{MFD}, \lambda_{cc})$ を示し、記号△Bは、比較例Bの光ファイバの $(\text{MFD}, \lambda_{cc})$ を示す。また、グラフG910は波長分散が $17\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である標準的なシングルモード光ファイバの等波長分散曲線、グラフG920は波長分散が $16\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である標準的なシングルモード光ファイバの等波長分散曲線、グラフG930は波長分散が $15\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である標準的なシングルモード光ファイバの等波長分散曲線を示している。一方、グラフG940波長分散が $16\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である純石英コアを有するファイバの等波長分散曲線、グラフG950波長分散が $16\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である純石英コアを有する光ファイバの等波長分散曲線を示している。

[0074] この図9から分かるように、比較例Bの光ファイバと比較して、各サンプルの光ファイバは、MFD及び λ_{cc} が同じであっても、波長分散が小さい。

[0075] 図10は、波長 1310nm におけるモードフィールド径MFDを横軸としケーブルカットオフ波長 λ_{cc} を縦軸とする2次元空間上において、サンプルBーF及び比較例Bそれぞれの光ファイバの $(\text{MFD}, \lambda_{cc})$ の位置を示すとともに、波長 1550nm における等分散スロープ曲線をも示すグラフである。なお、この図10中において、記号▲Bー▲Fは、サンプルBーFの光ファイバ $(\text{MFD}, \lambda_{cc})$ を示し、記号△Bは、比較例Bの光ファイバの $(\text{MFD}, \lambda_{cc})$ を示す。また、グラフ1010は分散スロープが $0.055\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である標準的なシングルモード光ファイバの等分散スロープ曲線、グラフ1

020は分散スロープが $0.059\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である標準的なシングルモード光ファイバの等分散スロープ曲線を示す。一方、グラフ1030は分散スロープが $0.055\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である純石英コアを有する光ファイバの等分散スロープ曲線を示す。この図10から分かるように、比較例Bの光ファイバと比較して、各サンプルの光ファイバは、MFD及び λ_{cc} が同じであっても、分散スロープが小さい。

- [0076] 以上のように、波長1310nmにおけるモードフィールド径MFDが $9\mu\text{m}$ 以下である、上述のようなこの発明に係る光ファイバは、国際規格 (ITU-T G.652) に準拠する GeO_2 添加の石英系光ファイバと比較して、ケーブルカットオフ波長 λ_{cc} 及び波長1310nmにおけるモードフィールド径MFDが同じであっても、波長1550nmにおける波長分散及び波長1550nmにおける分散スロープが小さい。

産業上の利用可能性

- [0077] この発明に係る光ファイバは、複数チャネルの信号光を伝送可能なWDM光通信システムの伝送媒体として、 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯のみならず $1.55\mu\text{m}$ 波長帯の光通信に適用可能である。

請求の範囲

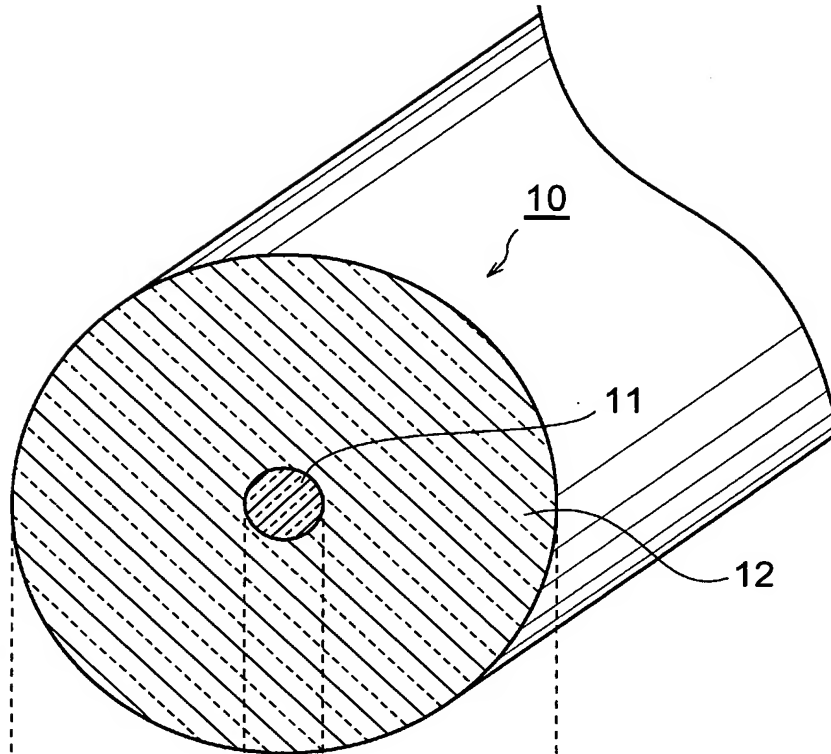
- [1] 所定軸に沿って伸びたコア領域と該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えた、石英ガラスを主成分とする光ファイバであって、
1260nm以下のケーブルカットオフ波長と、
波長1310nmにおいて0.32dB/km以下の伝送損失と、そして、
波長1380nmにおいて0.3dB/km以下のOH基に起因した損失増加量を有する光ファイバ。
- [2] 請求項1記載の光ファイバにおいて、
波長1310nmにおける伝送損失は、0.30dB/km以下である。
- [3] 請求項1記載の光ファイバにおいて、
波長1380nmにおける伝送損失は、波長1310nmにおける伝送損失より小さい。
- [4] 請求項1記載の光ファイバにおいて、
波長1310nmにおける伝送損失から波長1550nmにおける伝送損失を引いた値は、0.13dB/km以下である。
- [5] 請求項1記載の光ファイバは、さらに、
1300nm以上かつ1324nm以下の零分散波長を有する。
- [6] 請求項1記載の光ファイバは、さらに、
波長1550nmにおいて $0.5\text{ps}/\text{km}^{1/2}$ 以下の偏波モード分散を有する。
- [7] 請求項1記載の光ファイバは、さらに、
波長1550nmにおいて3dB/m以下の曲げ直径20mmでの曲げ損失を有する。
- [8] 請求項1記載の光ファイバは、さらに、
波長1550nmにおいて $10.0\mu\text{m}$ 以下のPetermann-Iモードフィールド径を有する光ファイバ。
- [9] 所定軸に沿って伸びたコア領域と該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えた、石英ガラスを主成分とする光ファイバであって、
1260nm以下のケーブルカットオフ波長と、
波長1310nmにおいて $9\mu\text{m}$ 以下のモードフィールド径と、そして、
波長1550nmにおいて $0.055\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下の分散スロープを有する光ファ

イバ。

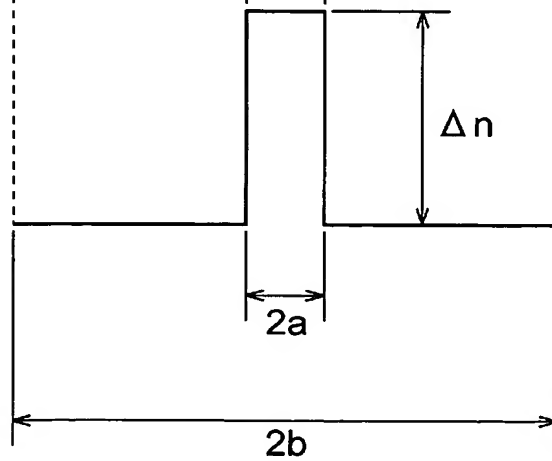
- [10] 請求項9記載の光ファイバは、さらに、
波長1550nmにおいて $16\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下の波長分散を有する。
- [11] 請求項10記載の光ファイバにおいて、
前記波長1550nmにおける波長分散は、 $15\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である。
- [12] 所定軸に沿って伸びたコア領域と該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えた、石英ガラスを主成分とする光ファイバであって、
波長1310nmにおいて $9\mu\text{m}$ 以下のモードフィールド径と、そして、
零分散波長において $0.082\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下の分散スロープを有する光ファイバ。
- [13] 請求項12記載の光ファイバにおいて、
前記零分散波長における分散スロープは、 $0.080\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である。
- [14] 請求項9又は12記載の光ファイバは、さらに、
波長1550nmにおいて $0.176\text{dB}/\text{km}$ 以下の伝送損失を有する。
- [15] 請求項9又は12記載の光ファイバは、さらに、
波長1310nmにおいて $0.32\text{dB}/\text{km}$ 以下の伝送損失を有するとともに、波長1380nmにおいて $0.3\text{dB}/\text{km}$ 以下の、OH基に起因した損失増加量を有する。
- [16] 請求項9又は12記載の光ファイバは、さらに、
 1300nm 以上かつ 1324nm 以下の零分散波長を有する。
- [17] 請求項1、9及び12のいずれか一項記載の光ファイバにおいて、
前記クラッド領域には、フッ素が添加されている。
- [18] 請求項17記載の光ファイバにおいて、
前記コア領域は、 GeO_2 を含まない。
- [19] 請求項1、9及び12のいずれか一項記載の光ファイバにおいて、
前記コア領域は、 $7.5\mu\text{m}$ 以上かつ $8.6\mu\text{m}$ 以下の外径を有するとともに、前記クラッド領域に対する前記コア領域の比屈折率差は、 0.36% 以上かつ 0.42% 以下である。

[図1]

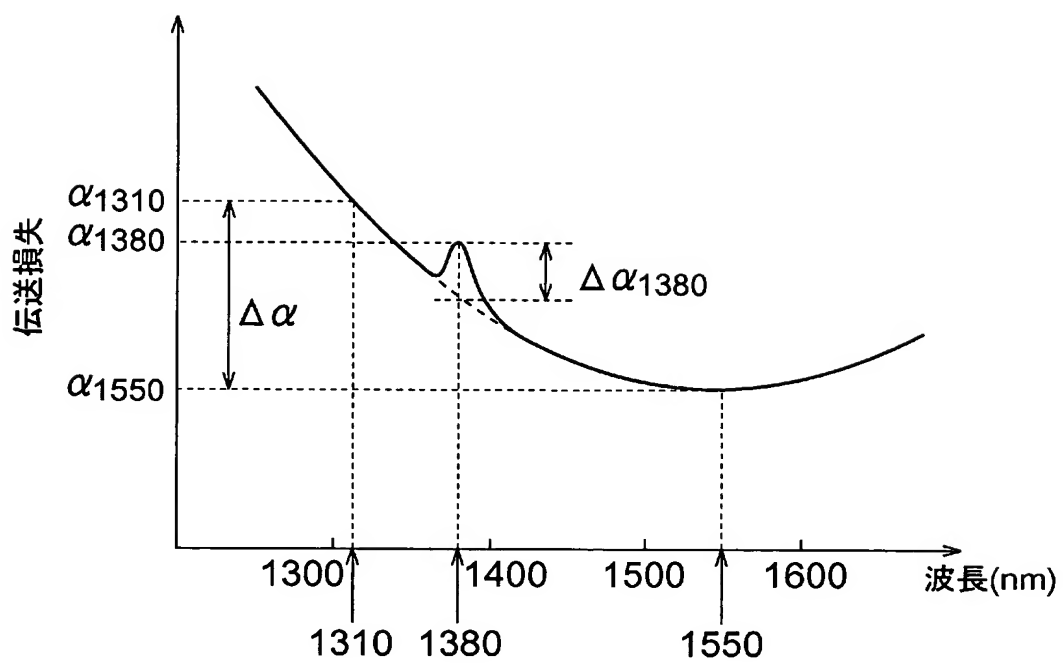
(a)



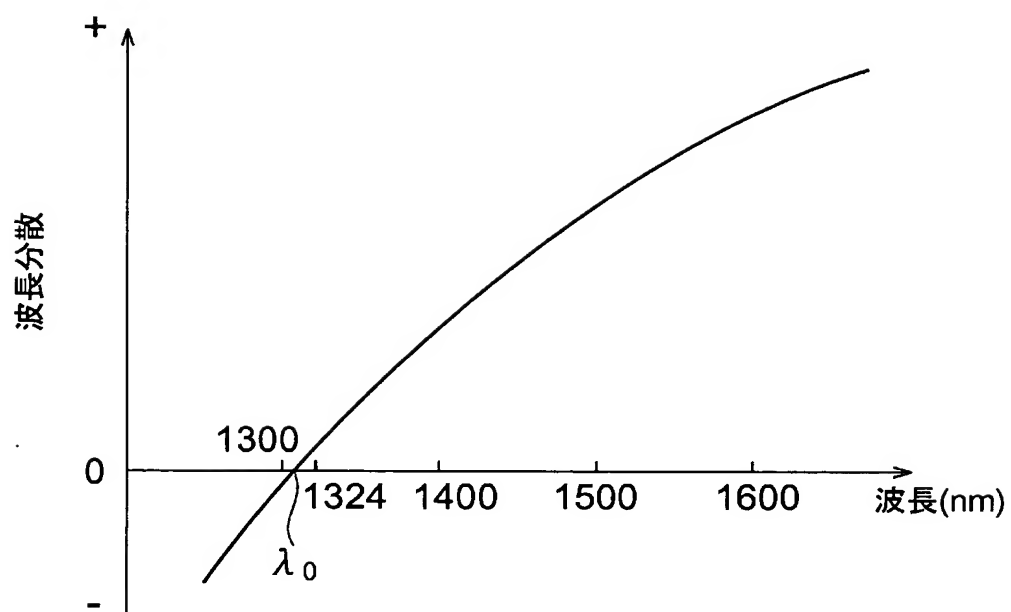
(b)



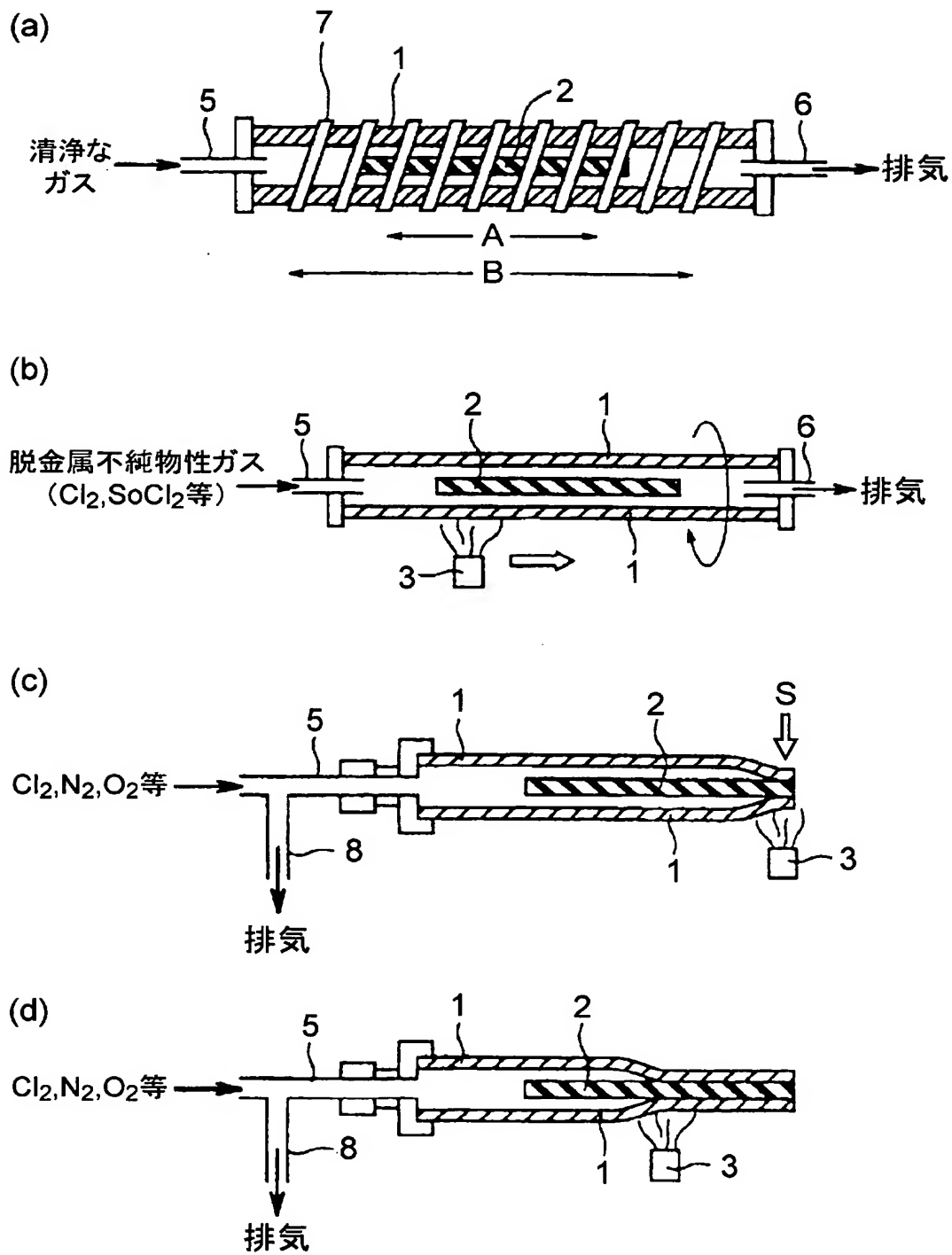
[図2]



[図3]



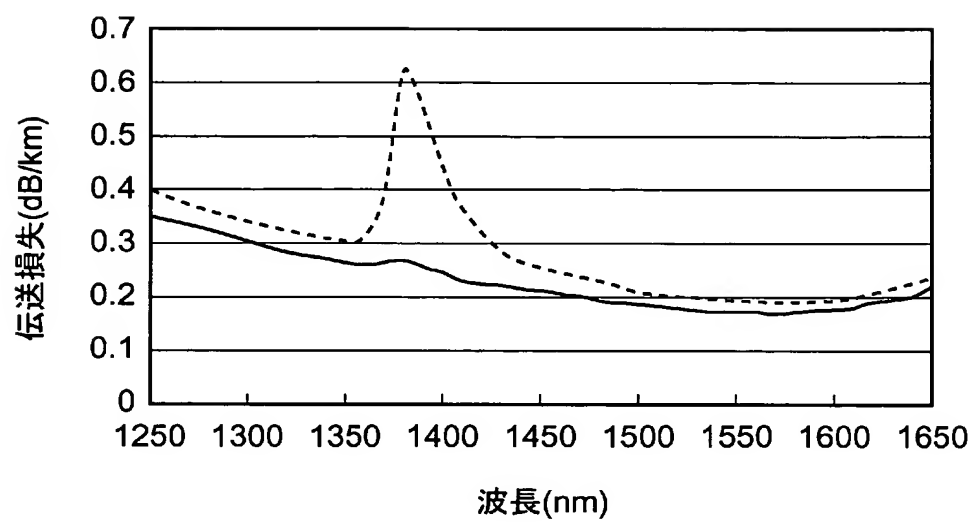
[図4]



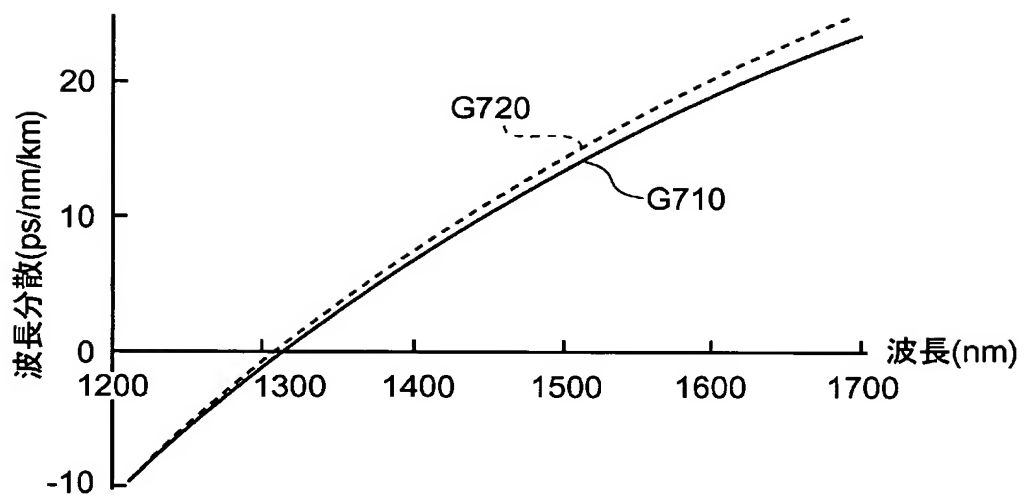
[図5]

	サンプルA	比較例A
伝送損失 α_{1310}	(dB/km) 0.29	0.33
伝送損失 α_{1380}	(dB/km) 0.27	0.62
伝送損失 α_{1550}	(dB/km) 0.17	0.19
損失差 $\Delta\alpha (= \alpha_{1550} - \alpha_{1310})$	(dB/km) 0.12	0.14
OH基に因る損失増加量 $\Delta\alpha_{1380}$	(dB/km) 0.03	0.31
ケーブルカットオフ波長	(nm) 1220	
零分散波長	(nm) 1310	
モードフィールド径(波長1550nm)	(μm) 9.7	
曲げ損失(波長1550nm 曲げ直径 20mm)	(dB/m) 2	

[図6]



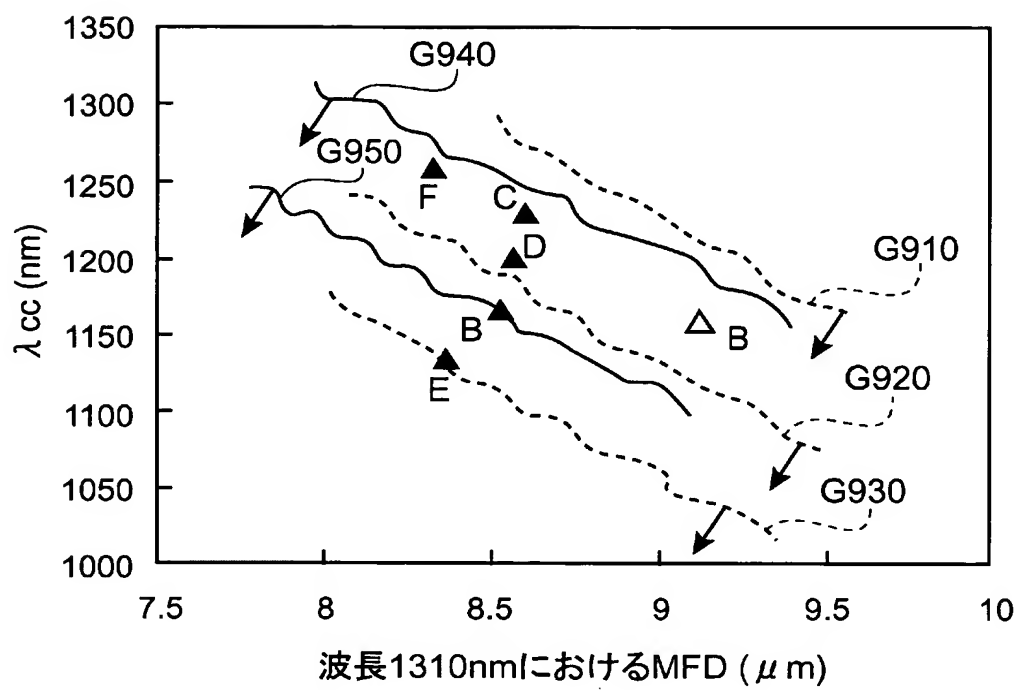
[図7]



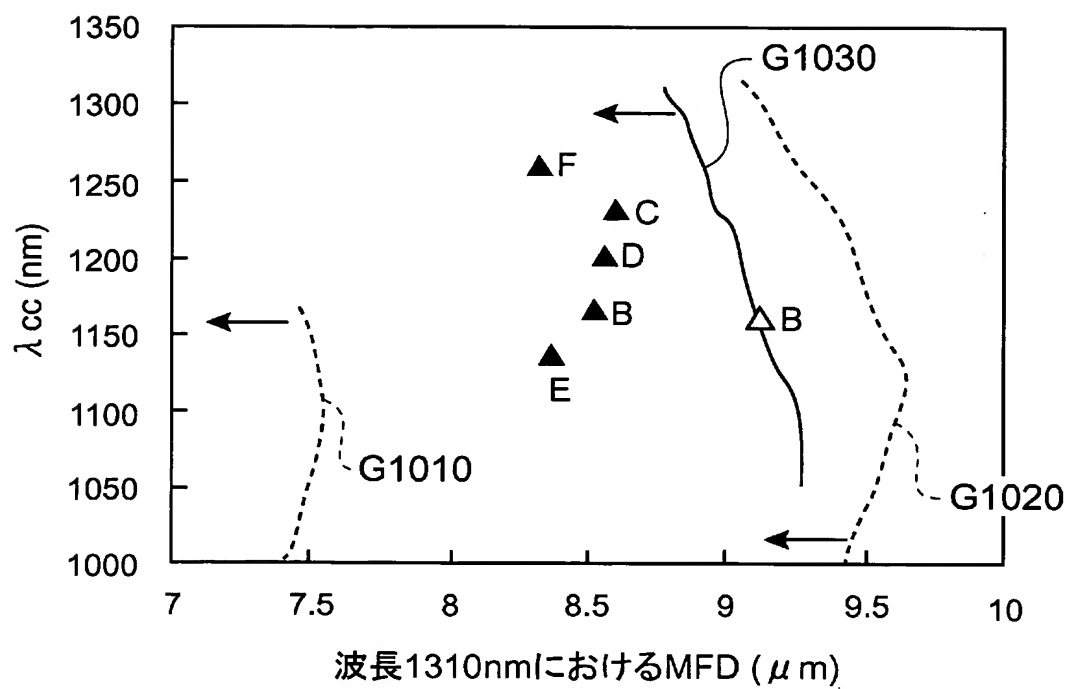
[図8]

	Δn	2a (μm)	ケーブル カットオフ 波長 (nm)	1310nm における MFD (μm)	零分散 波長 (nm)	1550nm における 分散波長 (ps/nm ² km)	1550nm における 分散 スロープ (ps/nm ² km)	零分散 スロープ (ps/nm ² km)	1310nm における 伝送損失 (dB/km)	1380nm における 伝送損失 (dB/km)	1380nm における OH損失 増加量 (dB/km)	1550nm における 伝送損失 (dB/km)	ファイバ 構造 (コア材質/ クラッド 材質)
サンプルB	0.38	7.80	1166	8.53	1318	14.97	0.0540	0.0793	≤ 0.32	≤ 0.31	≤ 0.10	≤ 0.176	純石英/ ガラス/ フッ素 添加 ガラス
サンプルC	0.935	8.16	1230	8.06	1313	15.46	0.0544	0.0806					
サンプルD	0.39	8.02	1200	8.57	1313	15.39	0.0537	0.0801					
サンプルE	0.395	7.56	1135	8.37	1318	14.86	0.0531	0.0789					
サンプルF	0.42	7.60	1260	8.33	1307	15.75	0.0536	0.0816					
サンプルG	0.385	8.14	1184	8.72	1312	15.90	0.0547	0.0800					
サンプルH	0.38	8.52	1226	8.92	1304	16.66	0.0548	0.0819					
サンプルB	0.36	8.10	1133	8.92	1317	15.39	0.0544	0.0790					
比較例B	-	-	1158	9.13	1316	16.50	0.0584	0.0850	0.33	0.62	0.31	0.19	Ge添加 ガラス/ 純石英 ガラス

[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011166

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ G02B6/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ G02B6/00-6/54

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI (DIALOG), INSPEC (DIALOG), JOIS (JICST FILE)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2000/31573 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 02 June, 2000 (02.06.00), Page 30, line 17 to page 31, line 17; page 43, lines 1 to 16; Figs. 2, 11, 15, 16 & JP 2000-221352 A & US 6266467 B1 & US 2002/12511 A1 & US 2003/77057 A1 & EP 1146358 A1	1-19
Y	Hiroshi YOKOTA et al., Cho Teisonshitsu Jun Silica Core Single Mode Fiber no Sonshitsu Tokusei", Showa 61 Nendo National Convention Record, the Institute of Electronics and Communication Engineers of Japan (4), 05 March, 1986 (05.03.86), p.4-262	1-8, 14-19

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 August, 2004 (26.08.04)

Date of mailing of the international search report

14 September, 2004 (14.09.04)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011166

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2-217329 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD), 30 August, 1990 (30.08.90), Particularly, examples 1, 2; Fig. 3 & JP 3-131544 A & JP 4-119939 A & EP 529694 B & EP 405580 A2 & US 5106401 A & US 5306322 A	1-8, 14-18
Y	JP 1-224706 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD), 07 September, 1989 (07.09.89), Full text; Figs. 1 to 4 (Family: none)	5, 16, 19
Y	JP 11-326670 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD), 26 November, 1999 (26.11.99), Par. Nos. [0010], [0011]; Fig. 1 (Family: none)	6, 19
X Y	EP 1329750 A2 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD), 23 July, 2003 (23.07.03), & JP 2003-279780 A	12, 13 7, 8, 14-19
X Y	JP 2003-84163 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD), 19 March, 2003 (19.03.03), Par. Nos. [0014] to [0021]; Figs. 1 to 11 & US 2003/147610 A1	9-11, 19 14-18
P, X P, Y	JP 2003-255169 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 10 September, 2003 (10.09.03), Full text; Figs. 1 to 12 & JP 2003-232952 A & US 2003/210878 A1	9-13, 17 14-16, 18
Y	Katsuya NAGAYAMA et al., "Cho Teisonshitsu 0.151dB/km Jun Silica Core Fiber to Denso System no Chokyorika", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Gijutsu Kenkyu Hokoku, Vol.102, No.135 (OCS 2002-31 to 36), 14 June, 2002 (14.06.02), p.1-6	14-16, 18
Y	NAGAYAMA, K. et al., Ultra-low-loss (0.1484dB/km) pure silica core fiber and extension of transmission distance., Electronics Letters, 26 September, 2002 (26.09.02), Vol.38, No.20, pages 1168 to 1169	14-16, 18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011166

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	NAGAYAMA, K. et al., Ultra Low Loss (0.151 dB/km) Fiber and its Impact on Submarine Transmission Systems., Optical Fiber Communication Conference (OFC 2002), Postdeadline Papers, March 2002, paper FA10-1 to FA10-3	14-16, 18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011166

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Claims 1-19 have a common matter (hereinafter, "a first common matter") that "fiber optics mainly consist of quartz glass and are provided with a core area along a specified axis and a clad area surrounding the core area". However, since the first common matter is well known without the need of exemplifying and makes no contribution over the prior art, it is not a special technical feature within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence. Therefore, there exists no special technical feature common to all claims 1-19, and hence claims 1-19 do not evidently fulfill the unity of invention.

The inventions are classified as:

(continued to extra sheet.)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

(1) Claims 1-8 and 17-19 referring to claim 1 which relate to the fiber optics that have in the fiber optics of the first common matter, a cable cutoff wavelength of up to 1260 nm, a transmission loss of up to 0.32 dB/km at a wavelength of 1310 nm, and an OH group-caused loss increase amount of up to 0.3 dB/km at a wavelength of 1380 nm.

Hence, claims 1-8 and 17-19 referring to claim 1 are a group of inventions (hereinafter, "first invention group") so linked as to form a single general inventive concept.

(2) Claims 9-11 and 14-19 referring to claim 9 which relate to the fiber optics that have, in the fiber optics of the first common matter, a cable cutoff wavelength of up to 1260nm; a mode field diameter of up to 9 μ m at a wavelength of 1310nm, and a dispersion slope of up to 0.055ps/nm²/km at a wavelength of 1550nm. Hence, claims 9-11 and 14-19 referring to claim 9 are a group of inventions (hereinafter, "second invention group") so linked as to form a single general inventive concept.

(3) Claims 12, 13 and 14-19 referring to claim 12 which relate to the fiber optics that have, in the fiber optics of the first common matter, a mode field diameter of up to 9 μ m at a wavelength of 1310nm, and a dispersion slope of up to 0.082ps/nm²/km at a zero dispersion wavelength. Hence, claims 12, 13 and 14-19 referring to claim 12 are a group of inventions (hereinafter, "third invention group") so linked as to form a single general inventive concept.

The first invention group and the second invention group have a common matter (hereinafter, "a second common matter") of "having a cable cutoff wavelength of up to 1260nm in the fiber optics of the first common matter". However, the second common matter is also well known without the need of exemplifying.

The second invention group and the third invention group have a common matter (hereinafter, "a third common matter") of "having a mode field diameter of up to 9 μ m at a wavelength of 1310 nm in the fiber optics of the first common matter. However, the third common matter is also well known as described in, for example, documents: EP1329750 A2 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD), 23.07.2003 and & JP 2003-279780 A.

Therefore, there exists no matter common to the first through third invention groups that can be considered to be a special technical feature within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence.

Accordingly, the number of invention in this international application is three.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B6/16

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B6/00-6/54

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

WPI (DIALOG), INSPEC (DIALOG), JOIS (JICSTファイル)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	WO 2000/31573 A1 (住友電気工業株式会社) 2000.06.02 第30頁第17行-第31頁第17行, 第43頁第1-16行, 第2, 11, 15, 16図 & JP 2000-221352 A & US 6266467 B1 & US 2002/12511 A1 & US 2003/77057 A1 & EP 1146358 A1	1-19
Y	横田弘 他, 超低損失純シリカコアシングルモードファイバの損失特性. 昭和61年度電子通信学会総合全国大会講演論文集(4), 1986.03.05, p. 4-262	1-8, 14-19

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

- の日の後に公表された文献
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

26.08.2004

国際調査報告の発送日

14.9.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
 高 芳徳

2K 9813

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2-217329 A (住友電気工業株式会社) 1990.08.30 特に実施例1, 2, 第3図 & JP.3-131544 A & JP 4-119939 A & EP 529694 B & EP 405580 A2 & US 5106401 A & US 5306322 A	1-8, 14-18
Y	JP 1-224706 A (住友電気工業株式会社) 1989.09.07 全文, 第1-4図 (ファミリーなし)	5, 16, 19
Y	JP 11-326670 A (住友電気工業株式会社) 1999.11.26 段落【0010】 , 【0011】 , 第1図 (ファミリーなし)	6, 19
X	EP 1329750 A2 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 2003.07.23	12, 13
Y	& JP 2003-279780 A	7, 8, 14-19
X	JP 2003-84163 A (住友電気工業株式会社) 2003.03.19	9-11, 19
Y	段落【0014】 - 【0021】 , 第1-11図 & US 2003/147610 A1	14-18
P, X	JP 2003-255169 A (古河電気工業株式会社) 2003.09.10	9-13, 17
P, Y	全文, 第1-12図 & JP 2003-232952 A & US 2003/210878 A1	14-16, 18
Y	永山勝也 他, 超低損失0.151dB/km純シリカコアファイバと伝送システム の長距離化. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.102, No.135 (OCS 2002-31~36), 2002.06.14, p.1-6	14-16, 18
Y	NAGAYAMA, K. et al. Ultra-low-loss (0.1484dB/km) pure silica core fibre and extension of transmission distance. Electronics Letters, 2002.09.26, Vol.38, No.20, p.1168-1169	14-16, 18
Y	NAGAYAMA, K. et al. Ultra Low Loss (0.151dB/km) Fiber and its Impact on Submarine Transmission Systems. Optical Fiber Communication Conference(OFC 2002) Postdeadline Papers, March 2002, paper FA10-1~FA10-3	14-16, 18

第Ⅴ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1-19は「所定軸に沿って伸びたコア領域と該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えた、石英ガラスを主成分とする光ファイバ」という共通の事項(以下、「第1の共通の事項」)を有している。しかしながら、前記第1の共通の事項は、例示するまでもなく周知であって、先行技術の域を出ないから、PCT規則13.2の第2文の意味における特別な技術的事項ではない。それ故、請求の範囲1-19の全てに共通の特別な技術的事項はない。従って、請求の範囲1-19は、発明の単一性を満たしていないことが明らかである。

そこで、発明の区分を行うに、

(1) 請求の範囲1-8、並びに、1を引用する17-19は、前記第1の共通の事項である光ファイバにおいて、1260nm以下のケーブルカットオフ波長と、波長1310nmにおいて0.32 dB/km以下の伝送損失と、そして、波長1380nmにおいて0.3 dB/km以下のOH基に

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

(第1ページの続葉(2) 第III欄の続き)

起因した損失増加量を有する光ファイバ、というものであり、この点において、請求の範囲1-8、並びに、1を引用する17-19は、単一の一般的発明概念を形成するように関連している一群の発明（以下、「第1の発明群」）である。

(2) 請求の範囲9-11、並びに、9を引用する14-19は、前記第1の共通の事項である光ファイバにおいて、1260nm以下のケーブルカットオフ波長と、波長1310nmにおいて9 μ m以下のモードフィールド径と、そして、波長1550nmにおいて0.055ps/nm²/km以下の分散スロープを有する光ファイバ、というものであり、この点において、請求の範囲9-11、並びに、9を引用する14-19は、単一の一般的発明概念を形成するように関連している一群の発明（以下、「第2の発明群」）である。

(3) 請求の範囲12、13、並びに、12を引用する14-19は、前記第1の共通の事項である光ファイバにおいて、波長1310nmにおいて9 μ m以下のモードフィールド径と、そして、零分散波長において0.082ps/nm²/km以下の分散スロープを有する光ファイバ、というものであり、この点において、請求の範囲12、13、並びに、12を引用する14-19は、単一の一般的発明概念を形成するように関連している一群の発明（以下、「第3の発明群」）である。

第1の発明群と、第2の発明群とは、「前記第1の共通の事項である光ファイバにおいて、1260nm以下のケーブルカットオフ波長を有する」という共通の事項（以下、「第2の共通の事項」）を有している。しかしながら、前記第2の共通の事項も、例示するまでもなく周知である。

また、第2の発明群と、第3の発明群とは、「前記第1の共通の事項である光ファイバにおいて、波長1310nmにおいて9 μ m以下のモードフィールド径を有する」という共通の事項（以下、「第3の共通の事項」）を有している。しかしながら、前記第3の共通の事項も、一例として文献：EP 1329750 A2 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 2003.07.23 & JP 2003-279780 Aに記載された通り周知である。

従って、第1～第3の発明群の間に、PCT規則13.2の第2文の意味において特別な技術的事項と考えられる共通の事項は存在しない。

よって、この国際出願の発明の数は、3であるものと認定する。